

Implementasi Fuzzy Logic Pada Sistem Kontrol pH Air Mineral Berbasis IOT**Joniwarta*¹, Wowon Priatna², Asep R³, Allan D Alexander⁴**joniwarta@dsn.ubharajaya.ac.id, wowonpriatna@dsn.ubharajaya.ac.id,asepramdhani@dsn.ubharajaya.ac.id, allan@ubharajaya.ac.id

Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

Informasi Artikel

Diterima : 18 Aug 2023

Direview : 19 Aug 2023

Disetujui : 29 Aug 2023

Kata Kunci

Ph, Iot, fuzzy logic, air minum dalam kemasan

Abstrak

Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kontrol pH Air Mineral Berbasis IOT untuk berbagai produk air mineral kemasan yang ada, sistem ini dapat mengukur nilai pH, untuk mengetahui apakah nilainya masih dalam batas layak untuk dikonsumsi atau tidak berdasarkan peraturan pemerintah. Masyarakat merasa kesulitan untuk memahami tingkat nilai pH produk karena kondisi informasi tingkat pH air mineral saat ini umumnya tidak tercantum dalam botol air mineral yang beredar di pasaran. Desain perangkat keras, desain aplikasi, dan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak adalah tiga langkah dari proyek penelitian ini. Nilai pH akan dibaca oleh sistem kontrol ini dari keluaran sensor kemudian data dikumpulkan menjadi data set. Data tersebut akan diperiksa trendnya menggunakan logika fuzzy, yang akan digunakan untuk mengklasifikasikan kadar pH maksimum dan minimum, kadar keasaman, dan kadar basa. Temuan penelitian menunjukkan bahwa web berbasis internet dapat mengakses sistem kontrol pH air mineral untuk memastikan nilai pH dan suhu setiap produk air mineral. Informasi ini kemudian dapat digunakan oleh konsumen untuk mengetahui tingkat pH dari setiap produk air mineral.

Keywords*pH, Iot, fuzzy logic, mineral water in bottles***Abstrak**

Implementation of Fuzzy Logic in the IOT-Based Mineral Water pH Control System for various existing bottled mineral water products, this system can measure the pH value, to find out if the value is still within the limits suitable for consumption or not based on government regulations. The public finds it challenging to understand the level of the pH value of the product because the current state of information regarding the pH level of mineral water generally is not listed in the mineral water bottle circulating on the market. Hardware design, application design, and hardware and software integration were the three steps of this research project. The pH value will be read by this control system from the output of the sensors then the data is collected into a data set. The data will be examined for trends using fuzzy logic, which will be used to classify the maximum and minimum pH levels, acidity levels, and base levels. The study's findings show that an internet-based web of things can access the mineral water pH control system to ascertain each mineral water product's pH value and temperature. This information can then be used by consumers to ascertain the pH level of each mineral water product.

A. Pendahuluan

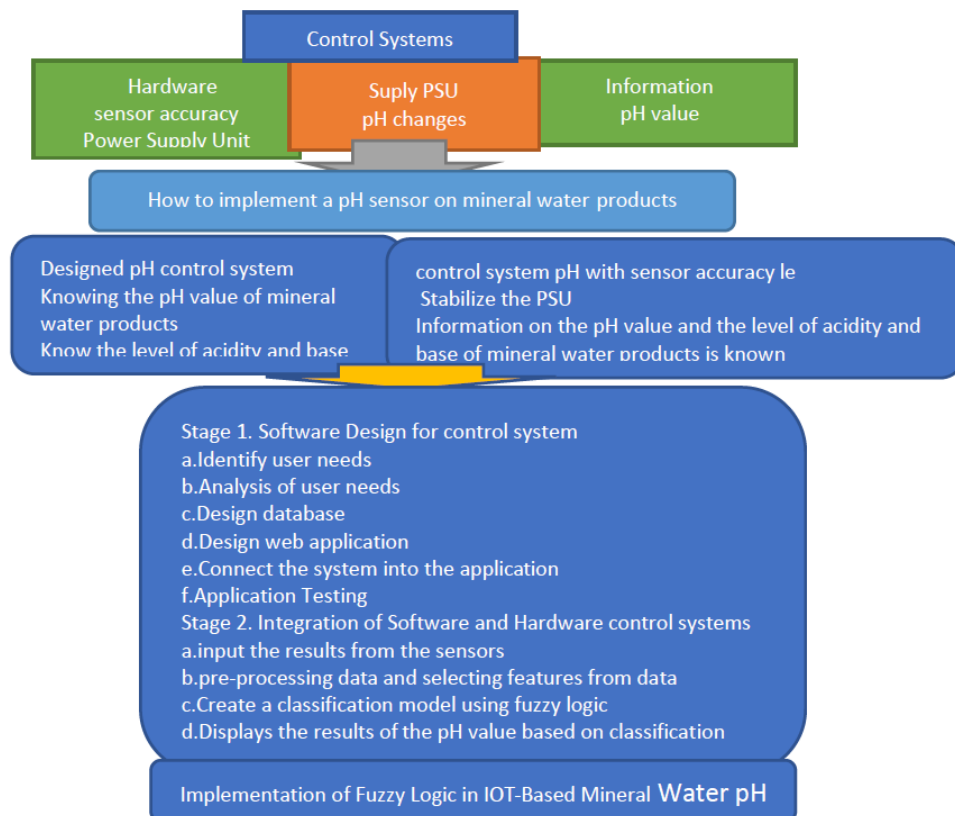
Menurut Standard Nasional Indonesia no :01-3553-2006 Air minum dalam kemasan (AMDK) adalah air baku yang diproses, dikemas, dan aman diminum mencakup air mineral dan air demineral. Air mineral merupakan air minum dalam kemasan yang mengandung mineral dalam jumlah tertentu tanpa menambahkan mineral sedangkan air demineral merupakan air minum dalam kemasan yang diperoleh melalui proses pemurnian secara destilasi, deionisasi, reverse osmosis atau proses setara [1]. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No: 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum dan air bersih, air minum adalah air yang memenuhi syarat kesehatan yang dapat langsung diminum[2]. Menurut pedoman WHO untuk Kualitas Air Minum dan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No: 492/MENKES/PER/IV/2010, nilai kelayakan pH yang layak untuk dikonsumsi berkisar 6,5 – 8,5 [3]. Pemilihan parameter-parameter penting dalam pengukuran air agar dapat memenuhi ketentuan air yang baik yaitu tidak berasa, berbau, dan berwarna. Parameter pH air yang merupakan parameter kimia organik [4]. Untuk mengetahui nilai pH tersebut maka di perlukan alat pengukuran kualitas air, dengan parameter-parameter penting dalam agar dapat memenuhi ketentuan air yang baik yaitu tidak berasa, berbau, dan berwarna. Parameter pH air yang merupakan parameter kimia organik [5]. Untuk melakukan pengukuran pemantauan kualitas dari air dengan parameter kadar pH digunakan suatu sistem tertanam dengan menggunakan sensor pH SEN0161, untuk dapat mengukur parameter pH[6]. Menurut BPOM Berdasarkan data produk yang terdaftar di Badan POM terdapat sekitar 7.780 produk AMDK dengan jumlah produsen seluruh Indonesia sebanyak 1.032 perusahaan. Dari seluruh produk AMDK, 99,5% merupakan produk dalam negeri (BPOM RI MD), dengan jenis AMDK terbanyak adalah Air Mineral sebanyak 6.092 produk atau 78,30% dan Air Demineral sebanyak 1.492 produk atau 19,18%.

Sedangkan untuk Air Mineral Alami hanya terdapat 45 produk atau 0,58% dan Air Minum Embun hanya 3 produk atau 0,04%. Selain 4 (empat) jenis AMDK tersebut juga terdaftar air minum pH tinggi sebanyak 148 produk atau 1,90%. Dengan ketentuan sesuai dengan permen perindustrian no 78/M.IND/PER/11/2016 [7]. Untuk mengetahui kualitas yang berhubungan dengan air, kita perlu mengukur parameter air, misalnya pH, Kekeruhan, Suhu, Oksigen Terlarut dan Salinitas [8]. Dengan kemajuan teknologi, otomatisasi pemantauan kualitas air dapat dibawa dalam mengambil tindakan dengan tepat daripada mengandalkan proses manual[9]. Dengan memanfaatkan teknologi berbasis Internet of Things (IOT) merupakan solusi hemat daya dan sederhana untuk pemantauan kualitas air [10]. Konsep dasar IoT berupa sistem kendali cerdas yang tertanam (embedded) dan menggunakan sensor untuk mengukur objek[11]. Dengan mendapatkan hasil pengukuran secara realtime, standar air ditentukan berdasarkan parameter kualitas air yang dihitung menggunakan sistem inferensi fuzzy (FIS), karena FIS memiliki kemampuan untuk menyerap ketidakjelasan terkait dengan parameter yang diamati. Pendekatan fuzzy yang dilaporkan dalam makalah ini telah digunakan dan didiskusikan secara luas dalam banyak aplikasi lingkungan; ini membantu dalam pengambilan keputusan dalam banyak masalah kompleks [12]. Dengan menggunakan Logika fuzzy dianggap

mampu untuk memetakan suatu input kedalam suatu output tanpa mengabaikan faktor- faktor yang ada. Logika fuzzy diyakini sangat fleksibel dan memiliki toleransi terhadap data-data yang ada. Berdasarkan logika fuzzy, akan dihasilkan suatu model dari suatu sistem yang mampu memperkirakan nilai variabel kualitas air minum kemasan berdasarkan nilai pH [13].

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam proses penelitian menjelaskan teknik-teknik yang berkaitan dengan perencanaan system dan teknik perancangan berupa hardware dan software



Gambar 1. Desain Sistem

Pada gambar, sistem menggunakan satu jenis sensor yang dipasang di area pengujian yang berfungsi sebagai input pH. Setelah itu, data yang didapat dari sensor akan dimasukkan ke dalam NodeMCU ESP8266 untuk disimpan dalam database yang kemudian ditampilkan di website. Selanjutnya data tersebut juga diolah pada mikrokontroler dan membuat model klasifikasi menggunakan logika fuzzy, menampilkan hasil nilai pH berdasarkan klasifikasi dan menampilkan grafik dari hasil tersebut.

1. Perlengkapan Desain

Perencanaan dan desain dari sistem Internet of Things (IoT) melibatkan beberapa langkah dan pertimbangan yang berbeda, yaitu menentukan tujuan dan sasaran dari sistem IOT. Yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem,

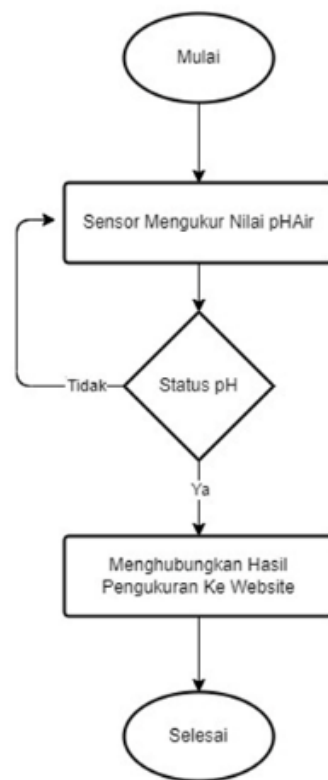
serta hasil yang diharapkan [14]. Yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat dan presisi[15]. Tool Desain bekerja pada beberapa level dan beberapa permasalahan. Misalnya, sistem dapat dirancang sebagai rangkaian modul (atau objek) yang secara bertahap disatukan untuk menghasilkan sistem yang berfungsi penuh. Desain mencakup diagram alir dan kode pemrograman yang merencanakan bagaimana fungsi tertentu dalam program akan beroperasi. Teknik desain berorientasi objek (misalnya, UML) dapat digunakan untuk membangun sistem dari serangkaian objek. Desain juga dapat mencakup masalah antarmuka – interaksi komputer manusia (HCI), tata letak layar, navigasi antar layar, dan papan cerita. Desain mungkin termasuk desain basis data – misalnya, menyusun tabel data menggunakan teknik Normalisasi atau pemodelan Hubungan Entitas.

2. Teknik Analisis Data

Teknik Analisis data bertujuan untuk mengklasifikasikan kriteria kualitas air sungai dengan menggunakan model fuzzy. Logika fuzzy umumnya diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian (uncertainty), ketidaktepatan (imprecise), noisy, dan sebagainya[16]. Logika Fuzzy adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Di mana logika klasik (crisp) menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah binary (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). Logika fuzzy menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat kebenaran. Logika Fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti "sedikit" [17]. Fuzzy Logic dapat dianggap sebagai kotak hitam yang menghubungkan antara ruang input menuju ruang output. Kotak hitam tersebut berisi cara atau metode yang dapat digunakan untuk mengolah data input menjadi output dalam bentuk informasi yang baik. Terdapat beberapa metode Fuzzy Logic di antaranya Fuzzy Logic Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto [18].

3. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras untuk sistem kontrol, dilakukan dengan berdasarkan sistem analisa sistem berjalan yang diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sistem Pengecekan Status pH

Sensor pH meter adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur kadar cairan tingkat keasaman atau kebasaan suatu cairan/larutan. Prinsip kerja dari sensor pH air adalah pada bagian probe sensor terbuat dari bahan elektroda kaca, pada elektroda kaca ujung probe sensor berisi larutan HCl, sensor probe akan mengukur nilai ion H_3O^+ dalam larutan, sehingga larutan/cairan dapat ditentukan kadar pHnya. Elektroda sensor pada sensor pH air terbuat dari bahan berlapis kaca yang sensitif dengan resistansi rendah, sehingga pembacaan dan evaluasi yang stabil dan cepat dapat diperoleh pada suhu cairan/larutan yang tinggi atau rendah[19].



Gambar 3. Sensor pH

Hasil pengukuran yang didapat dari sensor pH, merupakan suatu data input yang akan dijadikan sebagai data analisis pada website yang dirancang. Sistem penarikan data yang terhubung dengan website menggunakan mikrokontroller Wemos D1 R32 merupakan mikrokontroller sekaligus berfungsi sebagai modul Wi-Fi. dimana data diakuisisi dari sensor dapat langsung dikomunikasikan menuju database karena modul Wi-Fi sudah embedded, dan terdapatnya library Firebase terintegrasi sehingga dapat langsung digunakan untuk mengirimkan data menuju

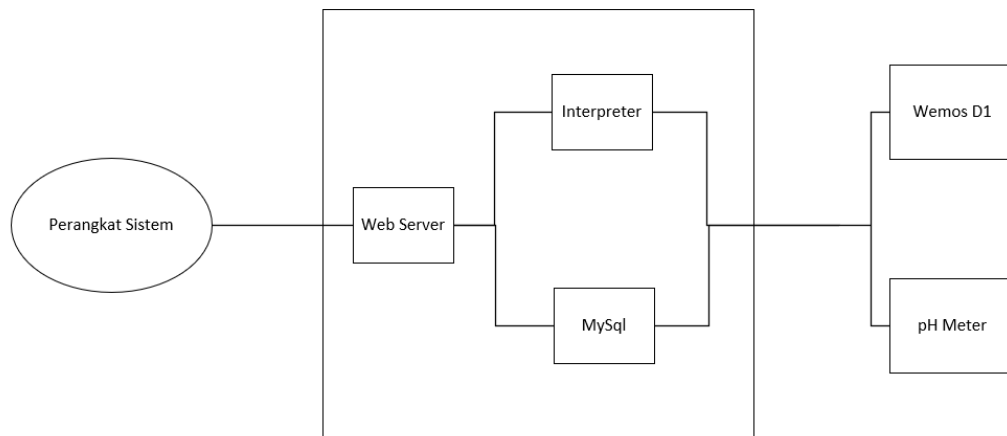
database, membuat kemungkinan data loss lebih kecil dimana terintegrasi dengan Wemos D1 R32. Data tersebut kemudian akan di cloud oleh internet dan kemudian dapat diakses melalui web[20].

Wemos D1 R32 merupakan salah satu arduino compatible development board yang dirancang khusus untuk keperluan IoT (Internet of Thing). Wemos menggunakan chip SoC Wifi yang cukup terkenal saat ini yaitu ESP8266 [21]



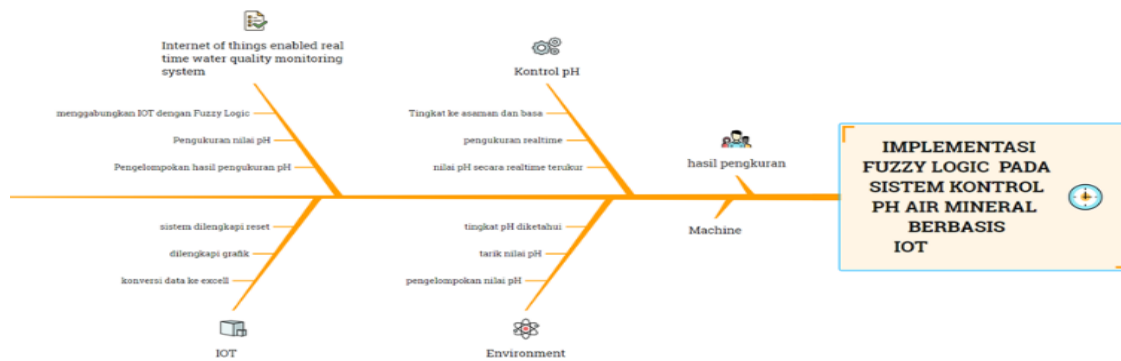
Gambar 4. Wemos D1

Perancangan perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem ini digunakan sebagai media untuk menghubungkan penggunaan perintah dengan perangkat keras (hardware) yang berfungsi dalam sistem. Pada perancangan perangkat lunak yang digunakan, sebagai berikut.



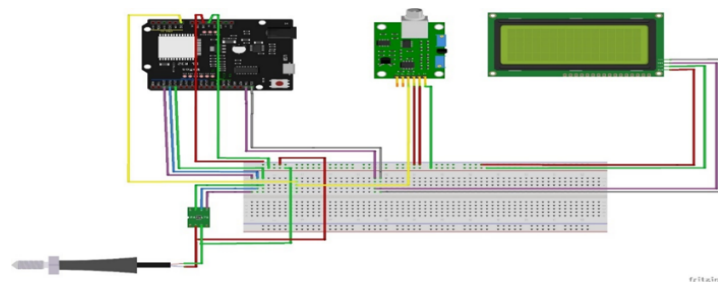
Gambar 5. Perancangan perangkat lunak

Secara keseluruhan perancangan digambarkan pada gambar 6.



Gambar 6. Perancangan Sistem

Hasil perancangan sistem untuk mengontrol segala aktivitas yang terjadi, mulai dari proses inisiasi sampai komunikasi. Sistem kontrol ini menggunakan sensor yaitu sensor yang dimonitoring yaitu sensor pH meter untuk mengukur tingkat asam basa dalam air. Komunikasi dan transfer data dilakukan melalui jaringan internet pada Website yang sudah terhubung pada mikrokontroler Wemos D1. Berikut adalah gambar rangkaian sistem pendeteksi ph



Gambar 7. Rangkaian Sistem

Realisasi perancangan Arsitektur Sistem pendeteksi pH menggunakan metode Fuzzy berbasis Iot seperti gambar 8.



Gambar 8. Perancangan Arsitektur Sistem

Proses yang dilakukan system, sensor pH membaca nilai pH yang dibaca sensor pH akan dikirimkan ke Mikrokontroler, LCD akan menampilkan hasil nilai pH telah dibaca oleh mikrokontroler, Melalui jaringan internet mikrokontroler mengirimkan nilai pH melalui jaringan internet melalui cloud. Cloud menerima status pH kedalam database, data yang sudah dikirim akan terbaca di dalam web akan dilakukan proses fuzzy berbentuk grafik dan tabel.

4. Sistem Kontrol Fuzzy

Proses inferensi fuzzy merupakan faktor kunci dari proses keputusan aktivasi. Ketika menilai nilai pH. Output dari proses inferensi fuzzy memungkinkan Mikrokontroller melakukan pengontrolan sistem. Proses inferensi fuzzy terdiri dari empat bagian, yaitu fuzzifikasi, basis aturan fuzzy, mesin inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi. Keempat parameter input tersebut berfungsi sebagai vektor input [22]. Pada sistem kontrol proses fuzzy logic yang digunakan adalah metoda fuzzy Madani, dengan bentuk persamaan matematika, sebagai berikut.

$$\mu[\text{asam}] = \begin{cases} 1, & x < 5,5 \\ \frac{6,5 - x}{6,5 - 5,5}, & 5,5 \leq x \leq 6,5 \\ 0, & x > 6,5 \end{cases}$$

$$\mu[\text{netral}] = \begin{cases} 0, & x < 6 \\ \frac{x - 6}{6,5 - 6}, & x < 6 \\ 1, & 6,5 \leq x \leq 7 \\ \frac{7,5 - x}{7,5 - 7}, & 7 \leq x \leq 7,5 \\ 0, & x > 7,5 \end{cases}$$

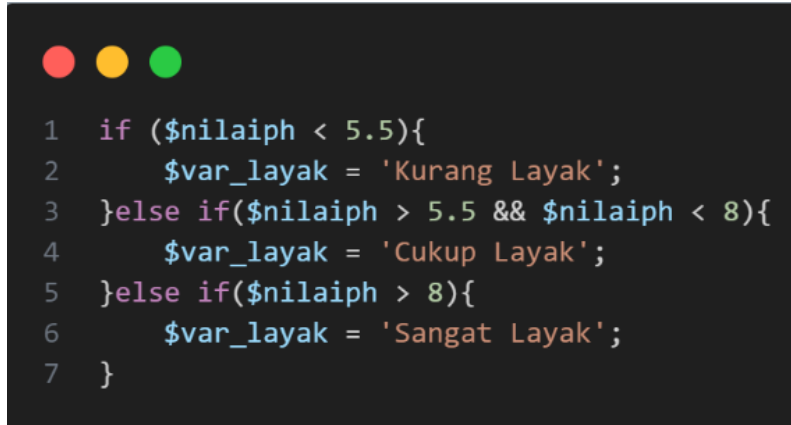
$$\mu[\text{Alkalin}] = \begin{cases} 0, & x < 7 \\ \frac{x - 7}{7 - 8}, & 7 \leq x \leq 8 \\ 1, & x > 8 \end{cases}$$

Pada persamaan tersebut, variabel fuzzy sebagai input yang akan digunakan, yaitu : terdiri dari 3 himpunan fuzzy, yaitu: asam, netral dan alkalin. Dengan pengelompokan sebagai berikut.

Tabel 1. Nilai Linguistik tingkat pH

Nilai Linguistik	Interval
asam	{5,5 6,5}
netral	{6,5 7}
alkalin	{7 8}

Dengan hasil defuzzifikasi, sebagai berikut.



```

1  if ($nilaiph < 5.5){
2      $var_layak = 'Kurang Layak';
3  }else if($nilaiph > 5.5 && $nilaiph < 8){
4      $var_layak = 'Cukup Layak';
5  }else if($nilaiph > 8){
6      $var_layak = 'Sangat Layak';
7  }

```

Gambar 9. Hasil defuzzikasi

C. Hasil dan Pembahasan

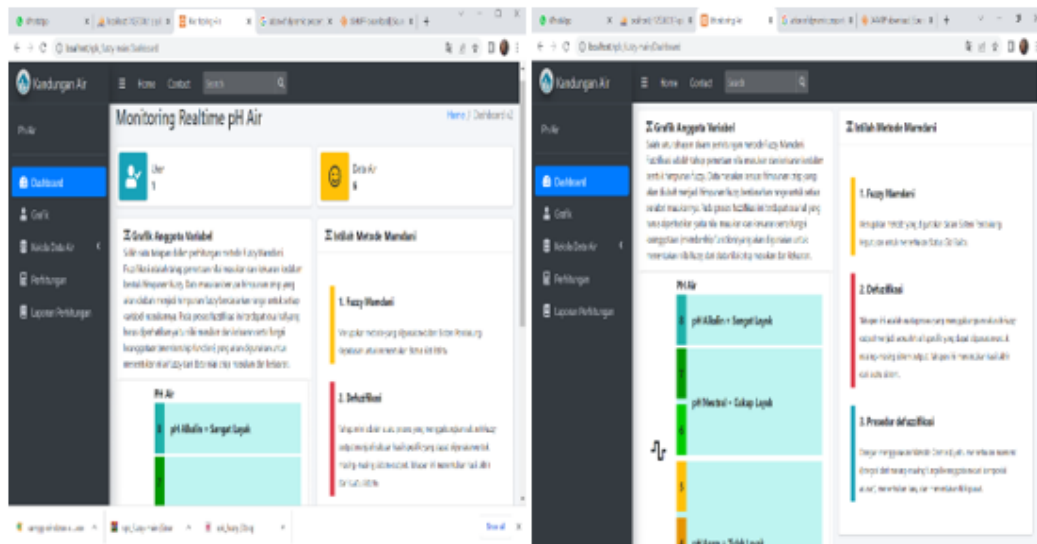
Hasil pengukuran tiap sampel didapat data, seperti diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran sampel

No	Waktu	Nilai PH					
		Pristine	Fluito	VIT	Giat	Hass	Paramount
1	0	0,00	0	0	0	0	0
2	0,1	8,06	7,21	7,58	5,24	7,71	7,21
3	0,2	8,18	7,31	7,57	5,12	7,61	7,31
4	0,3	8,12	7,21	7,82	5,25	7,61	7,20
5	0,4	8,12	7,21	7,92	5,22	7,61	7,20
6	0,5	8,23	7,21	7,84	5,14	7,61	7,20
7	0,6	8,11	7,94	7,61	5,13	7,94	7,34
8	0,7	8,19	7,87	7,89	5,26	7,87	7,17
9	0,8	8,08	7,8	7,81	5,05	7,8	7,20
10	0,9	7,99	7,73	7,9	5,29	7,73	7,23
11	0,10	8,16	7,66	7,83	5,25	7,66	7,26
12	0,11	8,19	7,59	7,83	5,12	7,59	7,29
13	0,12	8,17	7,52	7,61	5,00	7,52	7,23
14	0,13	8,19	7,45	7,65	5,21	7,45	7,23
15	0,14	8,18	7,38	7,74	5,12	7,48	7,23
16	0,15	8,13	7,31	7,85	5,12	7,61	7,23
17	0,16	8,18	7,24	7,96	5,26	7,64	7,23
18	0,17	8,26	7,27	7,95	5,02	7,67	7,23
19	0,18	8,17	7,3	7,74	5,01	7,63	7,23
20	0,19	8,28	7,23	7,85	5,10	7,63	7,23
21	0,20	8,18	7,96	7,66	5,12	7,76	7,26
22	0,21	8,29	7,89	7,65	5,10	7,69	7,39
23	0,22	8,29	7,82	7,79	5,07	7,82	7,22
24	0,23	8,16	7,75	7,85	5,03	7,75	7,25
25	0,24	8,10	7,68	7,66	5,12	7,68	7,25
26	0,25	8,01	7,61	7,95	5,14	7,61	7,23

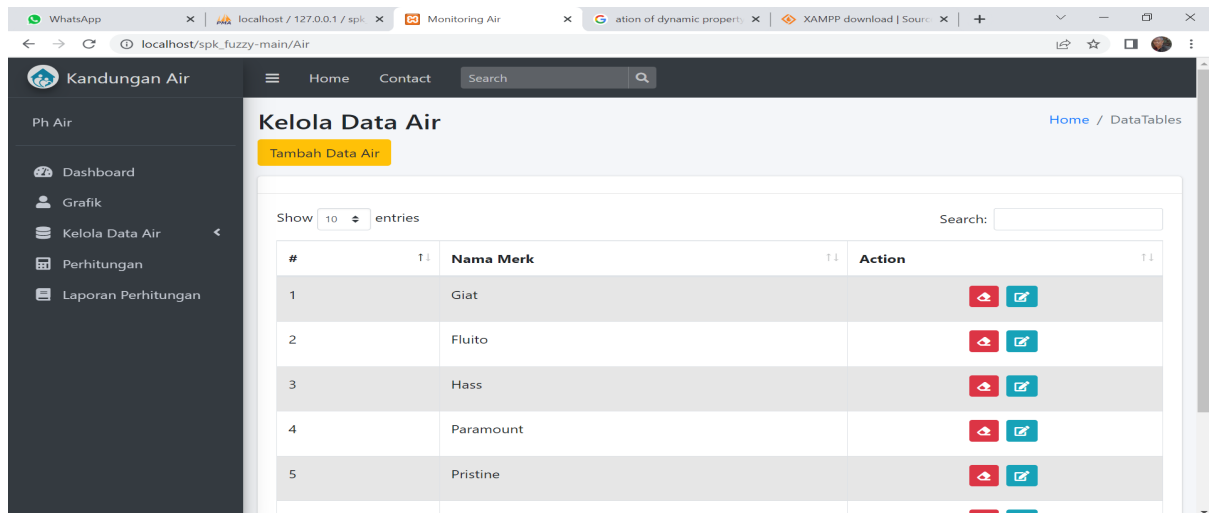
27	0,26	8,12	7,54	7,84	5,04	7,54	7,21
28	0,27	8,02	7,47	7,85	5,30	7,47	7,20
29	0,28	8,03	7,4	7,86	5,15	7,4	7,12
30	0,29	8,14	7,33	7,85	5,20	7,33	7,16
31	0,3	8,14	7,26	7,84	5,05	7,66	7,26
rata-rata		8,15	7,51	7,79	5,14	7,64	7,23

Berdasarkan hasil penarikan data oleh sensor, yang terdiri dari dengan 6 sampel. Penarikan data dilakukan tiap detik selama 30 menit secara realtime. Data data tersebut di analisis dengan menggunakan sistem berbasis fuzzy untuk mendapatkan kualitas air. Sistem kontrol berbasis logika fuzzy dibuat menggunakan software system pengambilan keputusan, tampilan hasilnya dapat dinyatakan melalui fuzzy rule viewer atau surface viewer. Adapun fuzzy rule viewer dapat dilihat pada Gambar 10.

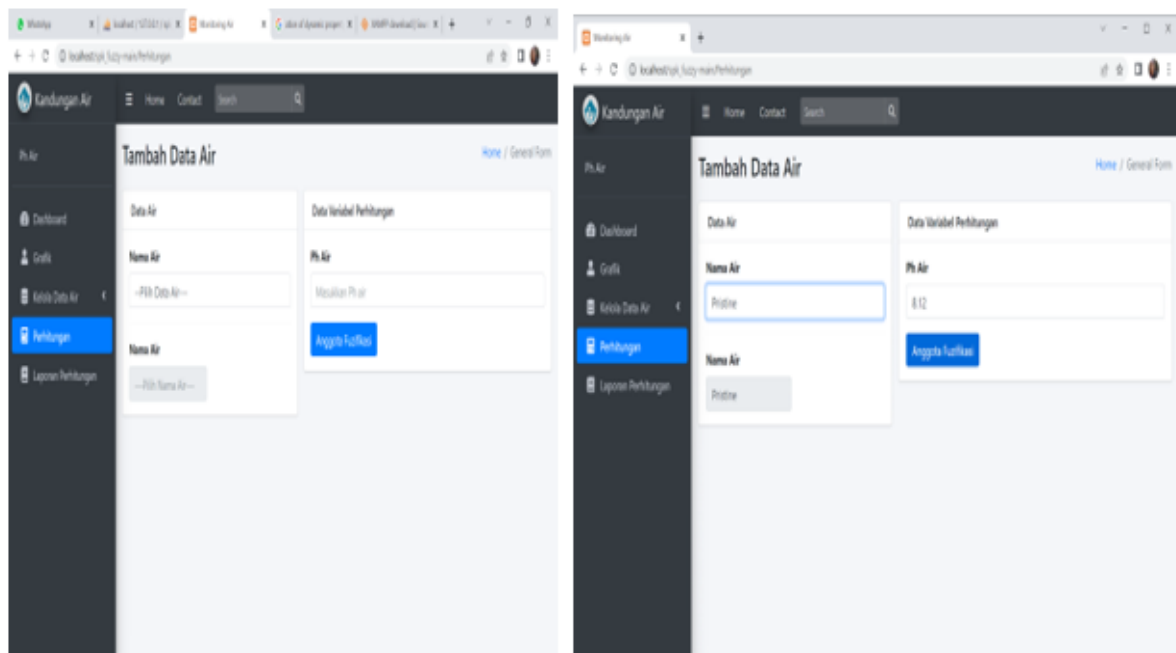


Gambar 10. Dashboard Sistem

Pengujian data dengan logika fuzzy terhadap kualitas air, dilakukan dengan menginput data air yang telah didapat oleh sensor. Dengan tahapan , menginput masing nama sampel yang diuji.

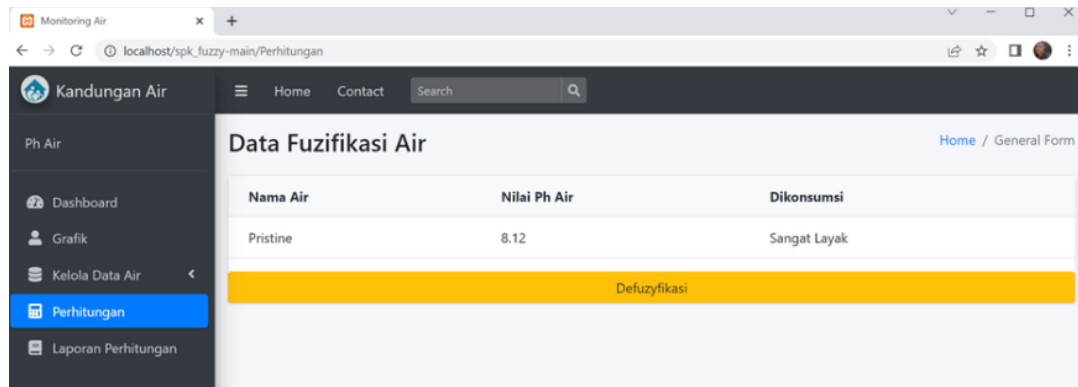


Gambar 11. Tampilan kelola data air



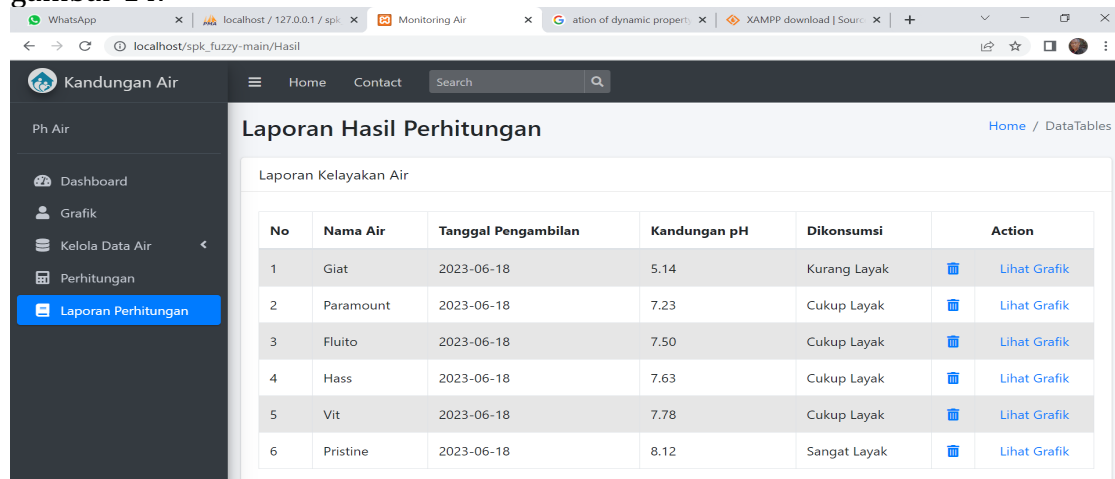
Gambar 12. Tampilan tambah data air

Setiap data yang telah di input, maka akan diuji fuzifikasi masing masing data air seperti yang terlihat pada gambar 13.



Gambar 13. Tampilan data fuzzifikasi air

Hasil fuzzifikasi, masing masing data air akan ditampilkan seperti terlihat pada gambar 14.



Gambar 14. Tampilan laporan hasil perhitungan data air

D. Simpulan

Pemeriksaan parameter kualitas air minum yang memiliki kandungan pH dari hasil pemeriksaan dari 6 merek dagang air mineral berdasarkan parameter uji telah memenuhi persyaratan kualitas air minum Permenkes 492 Tahun 2010 dan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 78/M-IND/PER/11/2016 yang tercantum dalam SNI Air Mineral SNI 3553:2015 telah memenuhi persyaratan dan memiliki kualitas 1(satu) kurang layak, 4 (empat) cukup layak dan 1 (satu) sangat layak berdasarkan nilai pH dari masing masing sampel.

Sedangkan hasil pemeriksaan dari 6 merek dagang air demineral terdapat parameter pH 1 (satu) tidak memenuhi persyaratan Permenkes 492 Tahun 2010 dan SNI Air Demineral. Dengan ketentuan syarat pH pada Permenkes 492 Tahun 2010 yang diperbolehkan yaitu pH 6,5 - 8,5 dan yang memenuhi syarat ada 5 sampel uji yang memenuhi persyaratan cukup layak dan sangat layak SNI.

E. Referensi

- [1] V. Musli and R. de Fretes, "Analisis Kesesuaian Parameter Kualitas Air Minum Dalam Kemasan Yang Dijual Di Kota Ambon Dengan Standar Nasional Indonesia (SNI)," *J. Arika*, vol. 10, no. 1, pp. 57–74, 2016.

-
- [2] Permenkes, "Permenkes No. 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum," <https://www.kesehatanlingkungan.com/2019/01/permenkes-492-tahun-2010-persyaratan.html>. pp. 1–9, 2010.
 - [3] World Health Organisation, "pH in drinking-water," *Guidel. Drink. water Qual.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2007.
 - [4] W. Krisno, R. Nursahidin, R. Y. Sitorus, and F. R. Ananda, "Penentuan Kualitas Air Minum Dalam Kemasan Ditinjau Dari Parameter Nilai Ph Dan Tds," *Semin. Nas. Penelit. dan Pengabd. Masy. 2021*, no. 416, pp. 188–189, 2021.
 - [5] A. P. Sari and J. Nurdiana, "Pemantauan Ph, Kekeruhan dan Sisa Chlor Air Produksi di Laboratorium Mini IPA Cendana PDAM Tirta Kencana Kota Samarinda Kalimantan Timur," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 4–7, 2017.
 - [6] K. Abda, A. S. Rachman, and M. S. Iqbal, "Perancangan Purwarupa Sistem Monitoring Kualitas Air Sungai Berbasis Internet Of Things (IoT)," 2020.
 - [7] Menteri Perindustrian Republik Indonesia, "Pemberlakuan Standar Nasional Indonesia Air Mineral, Air Demineral, Air Mineral Alami, Dan Air Minum Embun Secara Wajib." 2016.
 - [8] H. F. bin Hawari, M. N. S. bin Mokhtar, and S. Sarang, "Development of Real-Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Monitoring System," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 758, no. September, pp. 443–454, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-2183-3_43.
 - [9] K. S. Adu-Manu, C. Tapparello, W. Heinzelman, F. A. Katsriku, and J. D. Abdulai, "Water quality monitoring using wireless sensor networks: Current trends and future research directions," *ACM Trans. Sens. Networks*, vol. 13, no. 1, 2017, doi: 10.1145/3005719.
 - [10] S. Geetha and S. Gouthami, "Internet of things enabled real time water quality monitoring system," *Smart Water*, vol. 2, no. 1, pp. 1–19, 2016, doi: 10.1186/s40713-017-0005-y.
 - [11] V. Nathasya *et al.*, "Pemanfaatan Teknologi IoT berbasis Sensor dan Arduino untuk Observasi Polutant Limbah Cair Industri pada Air Lingkungan Utilization of IoT Technology based on Sensors and Arduino for Observation," vol. 12, pp. 61–69, 2023.
 - [12] P. Khatri, K. Kumar Gupta, and R. Kumar Gupta, "Raspberry Pi-based smart sensing platform for drinking-water quality monitoring system: A Python framework approach," *Drink. Water Eng. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 31–37, 2019, doi: 10.5194/dwes-12-31-2019.
 - [13] K. Harefa, "Penerapan Fuzzy Inference System untuk Menentukan Jumlah Pembelian Produk Berdasarkan Data Persediaan dan Penjualan," *J. Inform. Univ. Pamulang*, vol. 2, no. 4, p. 205, 2017, doi: 10.32493/informatika.v2i4.1487.
 - [14] P. J. Massarelli, "Planning and Design of Bridges," *Shock Vib.*, vol. 3, no. 2, pp. 155–157, 1996, doi: 10.1155/1996/905173.
 - [15] V. Madhavireddy and B. Koteswarrao, "Smart Water Quality Monitoring System Using Iot Technology," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4.36, p. 636, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.36.24214.
 - [16] A. Saelan, "Logika Fuzzy," *Makal. If2091 Strukt. Disk. Tahun 2009*, vol. 1, no. 13508029, pp. 1–5, 2009.

-
- [17] W. P. Sari, W. Lidyasari, M. F. Rozi, Y. Andini, and A. P. Windarto, "Penerapan Fuzzy Dalam Menentukan Dampak Pengguna Smartphone Di Kalangan Masyarakat," *KOMIK (Konferensi Nas. Teknol. Inf. dan Komputer)*, vol. 3, no. 1, pp. 827–833, 2019, doi: 10.30865/komik.v3i1.1722.
 - [18] M. Khaerudin, J. Warta, and Achmad Noeman, "Penggunaan Metoda Fuzzy Logic Tsukamoto Untuk Memprediksi Jumlah Penerimaan Peserta Didik Baru (Studi Kasus TK. Bina Mulia)," *J. Inform. Inf. Secur.*, vol. 2, no. 2, pp. 269–280, 2021, doi: 10.31599/jiforty.v2i2.897.
 - [19] P. Y. P. Pratama, "Perancangan PH Meter Dengan Sensor PH Air Berbasis Arduino I Putu Yoga Pramesia Pratama a1 , Kadek Suar Wibawa a2 , I Made Agus Dwi Suarjaya a3," vol. 3, no. 2, 2022.
 - [20] M. S. U. Chowdury *et al.*, "IoT based real-time river water quality monitoring system," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 155, pp. 161–168, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.025.
 - [21] N. A. Kusuma, "Rancang Bangun Smart Home Menggunakan Wemos D1R2 Arduino Compatible Berbasis ESP-12F," *UIN Syarif Hidayatullah Jakarta*, vol. 13, no. April, pp. 15–38, 2018.
 - [22] K. L. Tsai, L. W. Chen, L. J. Yang, H. Shiu, and H. W. Chen, "IoT based Smart Aquaculture System with Automatic Aerating and Water Quality Monitoring," *J. Internet Technol.*, vol. 23, no. 1, pp. 177–184, 2022, doi: 10.53106/160792642022012301018.